

EVALUACION COMPARATIVA DEL COMPORTAMIENTO LUMINICO Y TERMICO DE DIFERENTES SOLUCIONES DE AVENTANAMIENTOS PARA ESCUELAS Y OFICINAS DE LA PROVINCIA DE TUCUMAN

G. Gonzalo¹, S. Ledesma², V. Nota³, G. Márquez³

Instituto de Acondicionamiento Ambiental - Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad Nacional de Tucumán
Av. Roca 1900 - 4000 Tucumán - Argentina
Tel.+ .54.381.4364093 - Fax+ .54.381.4364141 - Email: ggonzalo@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: El presente trabajo, muestra los resultados alcanzados en el estudio comparativo del comportamiento lumínico y térmico de diferentes soluciones de aventanamientos de locales de aulas y oficinas.

Con el objeto de determinar la incidencia de las bandejas de luz en el comportamiento lumínico de las ventanas, es que se realizaron mediciones en maquetas, en el cielo celeste artificial y en el exterior, así también se determinó el comportamiento térmico de cada una de las propuestas analizadas, con el objeto de determinar soluciones apropiadas para locales de escuelas y oficinas de la provincia de Tucumán.

Los resultados alcanzados permitieron verificar la hipótesis de que el empleo de las bandejas de luz mejoran en cantidad y calidad las condiciones de iluminación natural interior de estos locales.

Palabras clave: Arquitectura, energía, arquitectura bioclimática, iluminación natural.

INTRODUCCION

El correcto diseño de la envolvente del edificio debe contemplar, entre otros requerimientos, la necesidad de brindar en los locales del mismo, niveles de iluminación natural adecuada tanto en cantidad como calidad, de manera tal de asegurar el normal desarrollo de las actividades en ellos previstas, minimizando el uso de la iluminación artificial y por lo tanto el consumo energético.

Para el caso de edificios como escuelas y oficinas, las actividades que en ellos se desarrollan requieren de una adecuada iluminación, lo que significa niveles aceptables de iluminación natural y obstrucción de la radiación solar directa sobre los planos de trabajo. El diseño que no contemple estas estrategias básicas conducirá al usuario al empleo de la iluminación artificial, con el consiguiente costo energético y, peor aún, en los casos que no se disponga de la misma, se forzará la tarea visual, con las consiguientes consecuencias físicas en el individuo: fatiga, disminución en el rendimiento intelectual y en el aprendizaje, entre otras.

Diferentes estudios permitieron demostrar la importancia que le cabe al rol de la iluminación natural en el rendimiento de los usuarios en los locales de trabajo. “Se encontró una correlación uniformemente positiva y estadísticamente significativa entre las mejores notas de las pruebas de los estudiantes en los casos de una correcta iluminación natural” (Loisos, 1999). Teniendo en consideración que “el ambiente luminoso natural es un recurso vital para el bienestar dentro de las escuelas, debiéndose diseñar de modo que, tanto estudiantes como docentes puedan realizar sus tareas visuales de la manera más efectiva, en un contexto psicológico y físico adecuado.” (Pattini, Kirshbaum, 1998), es que se realiza este estudio, que respondió al objetivo principal de determinar adecuadas soluciones de diseño de ventanas para locales de aulas y oficinas de la provincia de Tucumán.

METODOLOGIA

Se trabajó a partir de la definición de un prototipo de aula y oficina, con diferentes condiciones de aventanamientos y orientación, y se plantearon soluciones para la obstrucción de la radiación solar directa y mejoramiento de la iluminación natural.

Considerando que “los modelos físicos son, por lejos, la mejor herramienta para el diseño de la iluminación natural porque debido a la física de la luz no se introduce errores de escala e ilustra tanto la cantidad como la calidad del sistema de iluminación” (Lechner, 1988), se determinó a partir de la medición en modelos a escala el comportamiento lumínico de cada prototipo para la condición de cielo cubierto y cielo claro. Las mediciones para la condición de cielo cubierto se realizaron en el Cielo Celeste Artificial (Gonzalo et al, 2000) y las de cielo claro en el exterior, en estas últimas se pudieron verificar la eficiencia a la obstrucción de la radiación solar de los parasoles planteados.

¹ Director del Instituto de Acondicionamiento Ambiental, FAU-UNT.

² Profesora Adjunta

³ Auxiliar de Investigación

Se completó el estudio con la determinación mediante software del comportamiento térmico de cada prototipo analizado. A partir de la comparación de los resultados alcanzados, se pudo establecer soluciones convenientes para el diseño de las superficies vidriadas en dichos locales.

DESCRIPCION DEL MODELO

Se definió un prototipo de 6,70 m por 6,70 m, a partir de considerar la superficie mínima requerida por alumno para un número máximo de treinta estudiantes, establecidas en el Documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar”.

Para la definición de las superficies vidriadas del prototipo se consideró que tanto para la situación de locales escolares, así como de oficinas se presentan dos situaciones típicas de aventanamientos, la unilateral, o sea ventanas en un solo lado del local; o bilateral, o sea ventanas en dos muros opuestos, en donde uno de los lados se encuentra protegido ya sea por una galería o por la circulación. Para determinar el área vidriada para el prototipo base unilateral, condición más desfavorable, se dimensionó la misma considerando la superficie mínima establecida el Documento “Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar” del MCE de la Nación, en los requisitos establecidos para la iluminación natural.

Además se tuvo en cuenta, en la definición de los prototipos básicos, que las soluciones de aventanamientos mas frecuentes, son las ventanas sin protección solar alguna, o con protecciones como celosías, cortinas de enrollar exteriores o cortinado interior.

Teniendo en cuenta la necesidad de permitir el ingreso de la radiación solar directa en el período invernal al interior de los locales, de modo de permitir calefacción en forma pasiva los mismos y de impedir el ingreso de sol en el período estival, y considerando el requisito básico de obstruir durante todo el año la incidencia de la mancha solar directa sobre los planos de trabajo, se plantearon las bandejas de luz, las cuales obstruyen la radiación solar, y la reflejan reforzando la iluminación natural en las zonas más alejadas a las ventanas.

Las bandejas de luz fueron dimensionadas con el método del diagrama de trayectoria solar en proyección cilíndrica desarrollada.

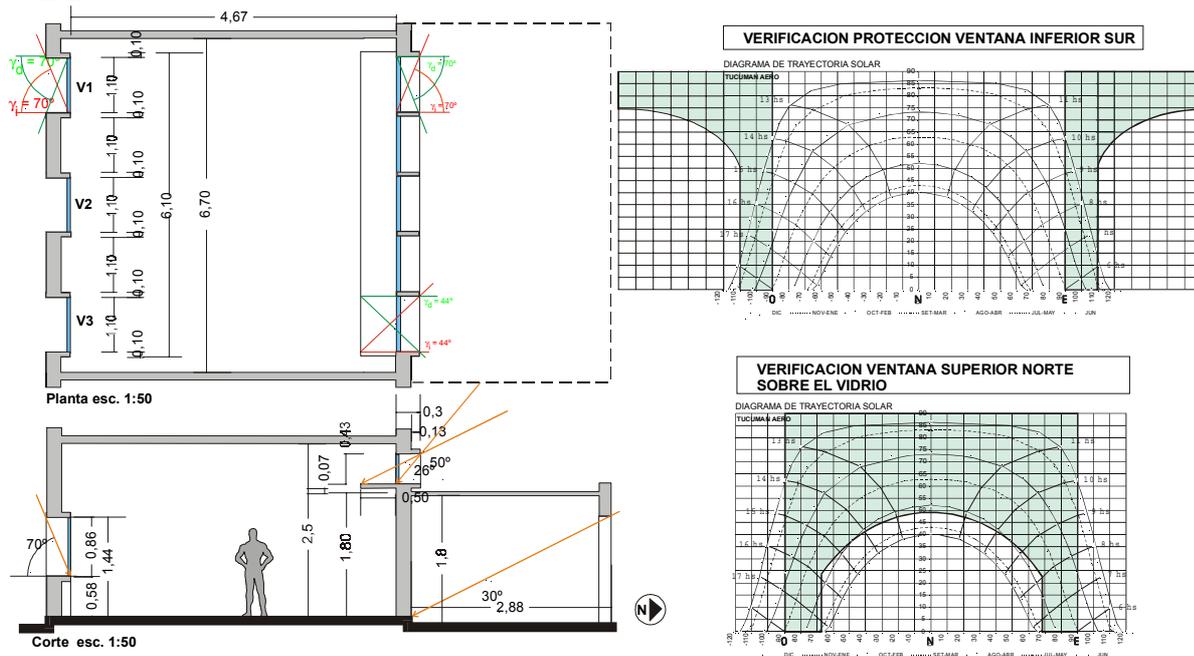


Figura 1: Ejemplo de un prototipo de análisis y verificación de las protecciones solares con diagrama de trayectoria solar

Los cálculos del comportamiento térmico de las distintas propuestas de cerramiento se realizaron utilizando el programa Quick2 (TEMMI, 1995) y un software desarrollado para evaluar comparativamente los prototipos (Gonzalo G.E., 2001).

Estos cálculos se han planteado en dos etapas de simulación: la primera a fin de determinar la incidencia parcial de los muros norte y sur, con sus diferentes tipos de solución de aventanamientos y la segunda considerando la situación real de uso, con cargas internas y suponiendo el local acondicionado en forma artificial, a fin de mantener las condiciones de confort internas durante todo el periodo lectivo.

RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez definidos los prototipos, se modelizaron los mismos en maqueta en escala 1:10 y se realizaron las mediciones de los niveles de iluminación interior, para las condiciones antes mencionadas, sobre dieciséis puntos interiores. Se verificó además el comportamiento de las bandejas de luz, así como la eficiencia frente a la obstrucción de la radiación solar directa.



Figura 2: Verificación de asoleamiento



Figura 3: Mediciones en cielo Artificial

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones de niveles de iluminación en el Cielo Artificial y del balance energético se resumen en la Tabla 1.

Prototipos											
Base bilateral		Base unilateral		Bilateral bandeja Norte		Bilateral bandeja Sur		Unilateral Norte		Unilateral Sur	
P.Med.	CLD (%)	P.Med.	CLD (%)	P.Med.	CLD (%)	P.Med.	CLD (%)	P.Med.	CLD (%)	P.Med.	CLD (%)
1	2,4	1	1,4	1	2,2	1	2	1	1,5	1	1,9
2	3	2	1,9	2	2,3	2	2,3	2	1,9	2	2,3
3	4,1	3	3,1	3	2,9	3	2,5	3	2,5	3	3,5
4	12,5	4	10,6	4	8,6	4	3,5	4	4,5	4	11,9
5	3,8	5	1,4	5	2,3	5	2,1	5	1,8	5	2
6	3,3	6	1,8	6	2,6	6	2,5	6	2	6	2,3
7	4,7	7	3,1	7	2,7	7	2,6	7	2,6	7	3,7
8	8,8	8	7,4	8	5	8	2,8	8	3,6	8	7,6
9	4,6	9	1,4	9	2,2	9	2,1	9	1,8	9	1,9
10	3,7	10	1,8	10	2,5	10	2,5	10	2	10	2,5
11	4,4	11	3,1	11	2,7	11	2,6	11	2,6	11	3,7
12	8,6	12	7,4	12	5,1	12	2,7	12	3,6	12	7,2
13	5	13	1,4	13	2,1	13	2	13	1,5	13	1,9
14	3,7	14	1,8	14	2,4	14	2,3	14	1,9	14	2,3
15	4,6	15	2,9	15	2,9	15	2,5	15	2,5	15	3,5
16	12,6	16	10,6	16	8,6	16	3,4	16	4,5	16	12
Prom.	5,61	Prom.	3,82	Prom.	3,57	Prom.	2,53	Prom.	2,55	Prom.	4,38
Enfr.	900 kw/h	Enfr.	1032 kw/h	Enfr.	797 kw/h	Enfr.	894 kw/h	Enfr.	1028 kw/h	Enfr.	593 kw/h
Calef.	2815 kw/h	Calef.	2209 kw/h	Calef.	2618 kw/h	Calef.	2732 kw/h	Calef.	2405 kw/h	Calef.	2947 kw/h

Tabla 1: Mediciones en el cielo artificial y consumos energéticos de los diferentes prototipos de análisis.

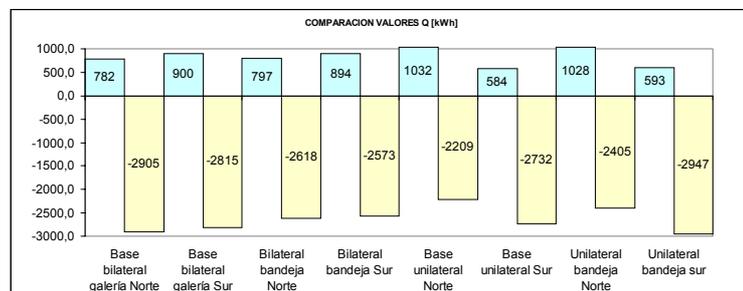


Figura 4 : Consumos de energía para enfriamiento y calefacción de los diferentes prototipos de análisis

Al analizar el comportamiento de los prototipos base se puede observar que:

- La situación mas conveniente es la iluminación bilateral, ya que para condiciones de cielo cubierto, los coeficientes de iluminación diurna (CLD), son superiores a los de iluminación unilateral, para un incremento en la superficie vidriada del 40%, los valores promedios alcanzados para condiciones de cielo cubierto la situación de iluminación unilateral es de 3,8 % y para bilateral del 5,6 %.

- Para la condición de cielo claro, puede apreciarse que todos los prototipos presentan ingreso de la radiación solar en algún período del año, siendo para el caso de iluminación unilateral, la orientación sur la que ofrece menor incidencia de la radiación solar directa.
- Para las situaciones de base analizadas, pude concluirse que si bien las orientaciones este y oeste no fueron consideradas por las conocidas dificultades que presentan para el control de la radiación solar en locales de trabajo, las orientaciones norte y sur presentan la necesidad de plantear elementos que obstruyan dicha radiación y los elementos usualmente empleados en las escuelas y oficinas son: celosías, cortinas de enrollar, cortinados interiores, etc., los que obstruyen el ingreso de la luz por lo que debe recurrirse a la iluminación artificial para suplir dicha carencia, con los consiguientes costos energéticos.

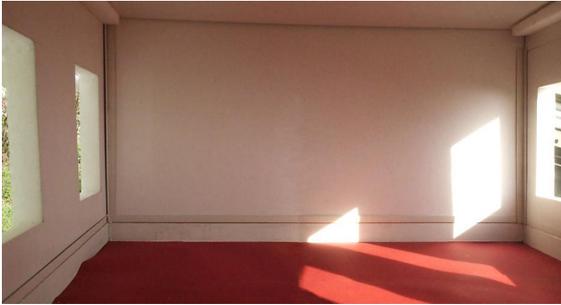


Figura 5: Prototipos base con iluminación bilateral, ventanas al norte, cielo claro, Julio 10:00 h.

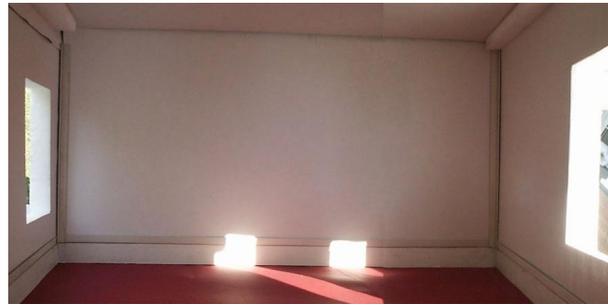


Figura 6: Prototipos base con iluminación bilateral, ventanas al Sur, cielo claro, Diciembre 8:00 h.

Al analizar el comportamiento de los prototipos con iluminación unilateral, se observa que:

- Las bandejas de luz, posibilitan obstruir la radiación solar directa e impedir la incidencia de la misma sobre los planos de trabajo. Para la situación de bandeja al norte, esta recibe incidencia del sol para el período frío, beneficiando la ganancia de calor, siendo necesaria para dicha condición. 20 % menos de energía adicional para la calefacción que el prototipo con ventanas al sur.
- La presencia de bandejas de luz, determina una mayor iluminación en las zonas más alejadas de la ventana, sobre todo para las condiciones de cielo claro. Siendo la situación más conveniente la de bandeja orientada al Norte, la cual recibe en mayor proporción la incidencia directa de la radiación solar, en donde se registraron niveles de iluminación en los puntos más alejados de la ventana en el orden del 71 % superior (Junio a las 12:00 h), que para la condición de ventanas sin bandejas.
- Las bandejas permiten una distribución más uniforme de la iluminación en el interior del local. Para cuantificar la diferencia de iluminancias en el plano de trabajo, se determinó la razón de uniformidad (UR), (La Roche P. et al, 2000) a partir de la siguiente ecuación:

$$UR = D_{fmin} / D_{favg}$$

Donde:

D_{favg} es el promedio de CLD en el espacio.

D_{fmin} es CLD mínimo del local

Para la situación de cielo cubierto, en el prototipo sin bandejas el valor obtenido es de 0,36, para la situación con bandejas, en las ventanas orientadas al Norte de 0,59 y en las orientadas al Sur de 0,43. Se observa por lo tanto que si bien el mayor promedio de iluminación se presenta para la condición de ventanas con bandejas orientadas al Sur, debido a que los parasoles son de menores dimensiones y obstruyen en menor proporción la bóveda celeste, la situación más conveniente es la de ventanas orientadas al Norte.

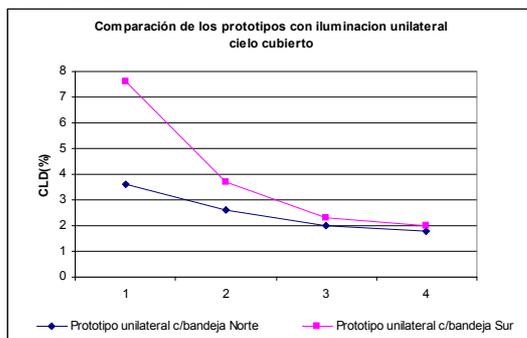


Figura 7: niveles de CLD en cielo cubierto para los prototipos con iluminación unilateral

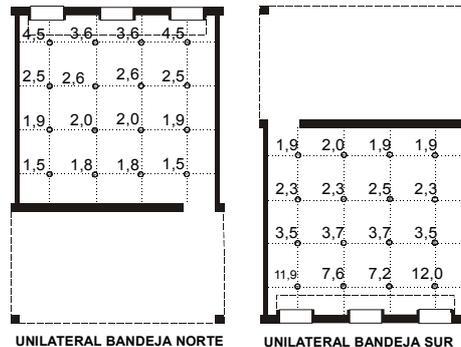


Figura 8: niveles de CLD en los prototipos con iluminación unilateral con bandejas al Norte y al Sur

Para la situación de cielo claro se mejora notablemente la distribución de la luz, se observa que para Julio a las 12.00 h, en los prototipos de ventanas orientadas al Norte, la razón de uniformidad es de 0,16 para el modelo sin bandejas y de 0,55 para el que posee bandejas.

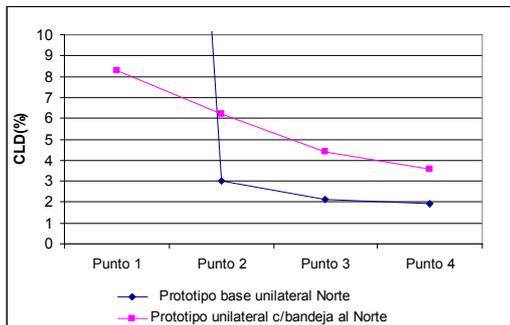


Figura 9: niveles de CLD para los prototipos con iluminación unilateral al norte en cielo claro en Julio a las 12:00 h.

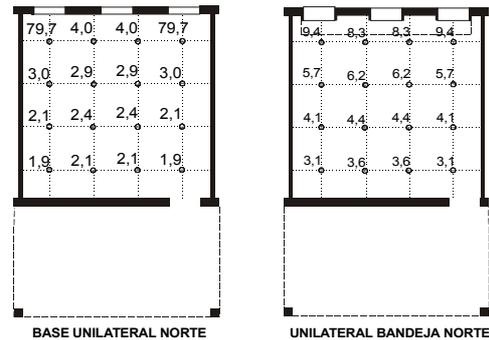


Figura 10: niveles de CLD para los prototipos con iluminación unilateral al norte en cielo claro en Julio a las 12:00 h.

Al analizar el comportamiento de los prototipos con iluminación bilateral, se observa que:

- La iluminación bilateral permite una distribución más uniforme de la luz, si bien los prototipos con bandeja analizados, poseen la misma superficie vidriada, se observa para la situación de cielo cubierto, para la situación de bandejas al sur, que para el caso de ventanas en un lado el valor de uniformidad es de 0,43, en cambio, para la condición en de ventanas en dos lados alcanza valores de uniformidad máxima en el orden de 0,79.
- Las bandejas de luz, posibilitan obstruir la radiación solar directa e impedir la incidencia de la misma sobre los planos de trabajo. La posibilidad de tener ventanas al norte en todas las situaciones, determina requerimientos de energía para la calefacción similares para los casos de prototipos con bandejas al norte o sur.
- Las bandejas permiten una distribución más uniforme de la iluminación en el interior del local. Para la situación de cielo cubierto, en el prototipo sin bandejas el valor de uniformidad obtenido es de 0,43, en cambio para la situación con bandejas, en el prototipo de bandejas orientadas al Norte es de 0,58 y en las orientadas al Sur de 0,79.

Para la condición de cielo claro, para Junio a las 10:00 h, para las situaciones con bandejas, la uniformidad, considerando los puntos medios del local, para el prototipo con bandejas al norte es de 0,95 y el prototipo al sur, de 0,67.

Se observa por lo tanto, que si bien el mayor valor de uniformidad para la condición de cielo cubierto se da en el prototipo con bandejas al Sur, para la condición de cielo claro, la mayor uniformidad se da en el prototipo al Norte, sumado a la situación de mayor promedio de iluminación interior.

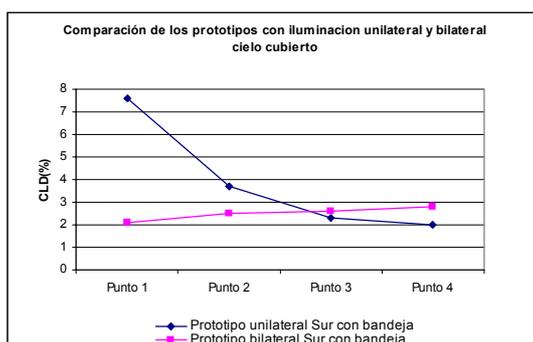


Figura 11: Valores de CLD para los prototipos con iluminación unilateral y bilateral en cielo cubierto.

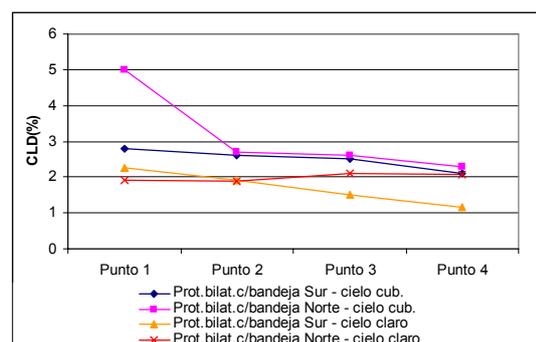


Figura 12: Valores de CLD para los prototipos con iluminación bilateral

Al analizar el comportamiento térmico de los prototipos, puede concluirse en forma sintética que:

Es muy poco significativa la influencia parcial del comportamiento térmico interno de los distintos diseños de aberturas, ya que si bien se encuentran variaciones máximas para los distintos prototipos, cuando se analizan únicamente los muros norte y sur (33% para calefacción y 76% para enfriamiento), para el caso de considerar el aula completa y con un funcionamiento estimado como probable, las diferencias son menores al 7%.

CONCLUSIONES

De los prototipos analizados, puede concluirse que:

La situación más conveniente, es aquella que presenta obstrucción de la radiación solar directa, aprovechamiento de la misma para calefacción solar pasiva, adecuada distribución de la luz en el interior, siendo la solución óptima, la desarrollada en el prototipo con iluminación bilateral, con bandeja orientada hacia el norte.

Para la situación de aventanamientos unilaterales, se observa también que la situación más favorable es la con ventanas orientadas hacia el norte.



Figura 13: Prototipo con iluminación unilateral, ventanas al Norte, Julio a las 12:00 h.



Figura 14: Prototipo con iluminación bilateral, bandeja de luz al Norte, Julio a las 12:00 h.

En la consideración del comportamiento térmico, se observa que para la función planteada, aula de escuela en hilera y en planta baja, considerada en medianera con otras aulas similares, que es el caso más común para las escuelas relevadas (Ledesma S.L., 1995), es prioritaria la consideración de las cargas internas y su adecuado diseño de protecciones solares, de la aislación de techos y paredes exteriores, de la ventilación natural y del enfriamiento nocturno. Con un planteo correcto de la envolvente y de estas otras consideraciones bioclimáticas, la forma en que se realicen las aberturas deja de tener una importancia fundamental desde el punto de vista térmico, siendo el rendimiento de la iluminación natural, en cantidad y calidad, el mayor factor de peso.

REFERENCIAS:

- Loisos G. (1999). Daylighting School, Daylighting Initiative. Design Tools and Information from The Pacific Gas and Electric Company.
- Pattini A. y Kirschbaum C. (1998). Evaluación subjetiva de aulas iluminadas con luz natural. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, pag. 03.63.
- Lechner N. (1987) Windows Daylighting Strategies. The Resource Center and Reference Library for The Lighting Industry.
- Gonzalo G.E., Tortonese A., Ramos M. y Boldrini P. (2000) Diseño y construcción de un cielo artificial para el Instituto de Acondicionamiento Ambiental. Comunicaciones del XXIII Congreso de ASADES, pag. 05.17.
- TEMMI, (1995). Quick 2, Ideal v.2.02g. Transfer of Energy Momentum and Mass International. Sudáfrica.
- Gonzalo G.E., (2001). Comparación del comportamiento térmico de la envolvente en escuelas. Proyecto CIUNT 26/B104, Tucumán (inédito).
- La Roche P., Schiler M. y Rodríguez L. (2000) Effectiveness of light shelves in the natural illumination of indoor spaces. Comparison of two latitudes: 34 N (Los Angeles) and 10 N (Maracaibo). Memorias de la Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones (COTEDI), pp. 189.
- Hintze S., Ledesma S.L. y otros (1995), Reformulación de Comedores Escolares, informe de relevamiento y diagnóstico. PROMIN. Tucumán.

ABSTRACT:

The present work shows the results reached in the comparative studies of daylight and thermal behavior of different solutions of classroom and office windows.

In order to determining the incidence of the light shelves in the light behavior of the windows, it is that they were carried out mensurations in scale model in the artificial sky and in the exterior, likewise the thermal behavior was determined for each one of the analyzed solutions, in order to determining appropriate solutions for schools and offices rooms of the county of Tucumán.

The reached results allowed verifying the hypothesis that the use of the light shelves improves in quantity and quality the conditions of daylight in these rooms.

Keywords: Architecture, energy, bioclimatic architecture, daylighting.